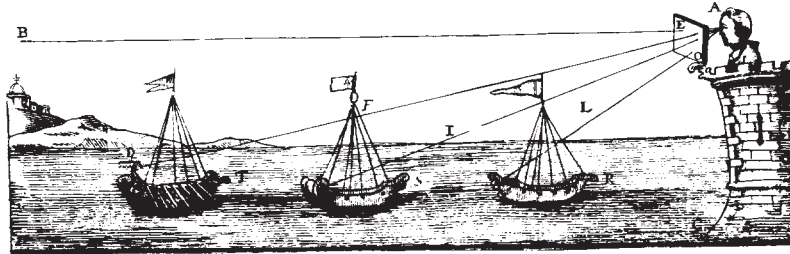


INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA



CAMPO MAGNÉTICO: DISEÑO Y EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA BASADAS EN EL APRENDIZAJE COMO INVESTIGACIÓN ORIENTADA

GUISASOLA, JENARO; ALMUDÍ, JOSÉ MANUEL; ZUBIMENDI, JOSÉ LUÍS y ZUZA, K.

Departamento de Física Aplicada I. Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)

Resumen. Este trabajo se inspira en una secuencia de enseñanza constructivista; más concretamente en el modelo conocido por «enseñanza-aprendizaje como investigación orientada». De acuerdo con esta base teórica, hemos desarrollado una investigación empírica que se enmarca dentro de la enseñanza del magnetismo en el ámbito universitario. Se ha desarrollado una «secuencia de actividades», así como un «plan de instrucción» para grupos experimentales. El diseño que hemos realizado nos ha permitido evaluar el nivel de aprendizaje conseguido por los estudiantes, en lo que se refiere a los contenidos de tipo conceptual, procedimental y actitudinal. Los resultados obtenidos parecen indicar que los materiales desarrollados, así como la forma en que hemos trabajado con ellos, han contribuido a un aprendizaje más significativo y han favorecido que los estudiantes tengan una actitud más positiva hacia el aprendizaje de esta área de la física.

Palabras clave. Innovación educativa, estrategias de enseñanza, planificación de secuencia de contenidos, enseñanza del campo magnético.

Magnetic field: design and evaluation of teaching strategies based on learning as oriented research

Summary. The aim of this study is to analyse students' ideas about the nature of the magnetic field. We have assumed that a significant knowledge of the source of magnetic field is a basic prerequisite when students are to reason about electromagnetic phenomena. In order to analyse students' explanations we have taken into account the fact that individual build mental representations to help them understand the functioning of a physic system. These mental representations include different explanatory categories of reality in one same individual depending on the context and the contents concerned. Therefore, we have designed an open-question questionnaire with emphasis on explanations so as to analyse the students' reasoning. The results found seem to confirm that students do have serious difficulties in learning the theory of magnetic field.

Keywords. Educational innovation, teaching strategies, design of teaching sequences, teaching of magnetic field.

1. INTRODUCCIÓN

Existe un amplio consenso, en la investigación en enseñanza de las ciencias, a la hora de señalar que una comprensión adecuada de la forma en que los estudiantes adquieren los conocimientos científicos en el contexto escolar puede ayudar a los profesores a planificar secuencias de aprendizaje más adecuadas para mejorar el aprendizaje de los estudiantes (Driver et al., 1994; Millar et al., 1996; Duit y Treagust, 1998).

Las concepciones alternativas de los estudiantes tienen una clara dependencia del contenido particular enseñado (Wandersee, Mintzes y Novak, 1994; Pozo y Gómez Crespo, 1998). Las dificultades de aprendizaje de conceptos relacionados con el magnetismo y, en concreto, del concepto de *campo magnético* han comenzado a investigarse en la última década (Colombo y Fontdevila, 1990; Erickson, 1994; Meneses y Caballero, 1995; Bar et al., 1997; Maarouf y Benyamna, 1997; Galili y Kaplan, 1997; Bagno y Eylon, 1997; Pais de Sousa, 1997; Seroglou et al., 1998; Borges y Gilbert, 1998; Velazco, 1998; Greca y Moreira, 1998; Borges, 1999; Maloney et al., 2001; Guisasola, Almudí y Zubimendi, 2003; Guisasola, Almudí y Ceberio, 2003). Estas investigaciones muestran que los estudiantes no identifican correctamente las fuentes del campo magnético y que no llegan a establecer una relación de equivalencia, en el ámbito del electromagnetismo, entre una espira de corriente y un imán (Maarouf y Benyamna, 1997; Borges y Gilbert, 1998; Pais de Sousa, 1997). Así mismo, muchos estudiantes no comprenden la diferencia entre el campo electrostático y el campo magnético estacionario (Galili, 1995; Oliveira et al., 1999; Greca y Moreira, 1998).

Del análisis de sus respuestas también se ha podido constatar que, además de las carencias de tipo conceptual que se acaban de señalar, los estudiantes presentaban una serie de dificultades procedimentales que sería necesario abordar desde una enseñanza dirigida a reestructurar las concepciones de los estudiantes (Viennot, 1996; Guisasola, Almudí y Zubimendi, 2003; Borges y Gilbert, 1998). Así pues, un buen conocimiento científico no puede reducirse sólo a tratar aspectos conceptuales, que evidentemente intentarían paliar las carencias apuntadas con anterioridad, sino que debe haber, al lado de lo anterior, exigencias procedimentales y ontológicas (Duschl, 1990; Nersessian, 1995; NSES, 1996). Duschl y Gitomer (1997) sugieren que, si queremos conseguir una reestructuración de las concepciones de los estudiantes, parece necesario enseñar aquellos aspectos metodológicos y epistemológicos incluidos en la validación de las teorías, en su contrastación y en la toma de datos. Ellos resaltan la importancia de seleccionar una adecuada secuencia de actividades que permita a los estudiantes adquirir las habilidades necesarias para poder reestructurar sus concepciones.

El objetivo del trabajo que aquí presentamos es exponer el tratamiento realizado para superar las dificultades de enseñanza-aprendizaje en la introducción del concepto de *campo magnético*. En física, el estudio del campo magnético es muy amplio e incluye diferentes temas como propiedades y producción del campo magnético, inducción magnética y radiación electromagnética. Sin embargo, en este estudio, cuando hablamos de campo magnético, nos referiremos a campos magnéticos esta-

cionarios producidos por cargas en movimiento con velocidad constante o, de forma equivalente, por corrientes estacionarias (corrientes que no varían con el tiempo) dentro de la teoría clásica del electromagnetismo definida por las ecuaciones de Maxwell.

La idea de que el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias se desarrolle como un proceso de tratamiento de situaciones problemáticas abiertas que los alumnos puedan considerar de interés y que se desarrolle en un contexto similar, dentro de lo posible en cada nivel, al de la investigación científica, es actualmente compartida por un amplio grupo de investigadores en enseñanza de las ciencias (Gil y Carrascosa, 1985; Duschl y Gitomer, 1991; Hodson, 1992; Duschl y Hamilton, 1998; Jiménez-Aleixandre, 1998; Viennot y Rainson, 1999; Driver, Newton y Osborne, 2000; Verdú, Martínez-Torregrosa y Osuna, 2002; Gil et al., 2002; Furió et al., 2003).

Nuestra propuesta, parecida a las citadas, se sitúa dentro de un marco constructivista del aprendizaje (Driver y Oldham, 1986; Burbules y Linn, 1991; Strike y Posner, 1992; Hodson, 1992) y se basa en el tratamiento de situaciones problemáticas que no puede traducirse en fórmulas sencillas, sino que ha de contemplarse como una actividad científica, abierta y creativa debidamente orientada por el profesor (Furió y Gil, 1978; Gil et al., 1999; Furió, 2001; Gil et al., 2002). Esta propuesta se concreta en un trabajo colectivo de *investigación orientada*, tan alejado de las propuestas por descubrimiento autónomo (Schaw, 1962) como de la transmisión de conocimientos ya elaborados. En nuestra propuesta utilizamos la metáfora del *investigador novel* cuyo papel consistiría en replicar investigaciones ya conocidas por «el director de las mismas» (el profesor). Es necesario resaltar que no se trata de que los estudiantes construyan por sí solos todos los conocimientos científicos que tanto tiempo y trabajo exigieron de los más importantes científicos, sino de colocarles en una situación en la que puedan familiarizarse con el trabajo científico y sus resultados, abordando problemas conocidos. El planteamiento constructivista del aprendizaje de las ciencias ha de responder a las características de «investigación orientada» en el sentido de que constantemente se cotejan los resultados de los distintos equipos y se cuenta con la inestimable ayuda de un experto (Furió et al., 2003).

En la primera parte de este trabajo, expondremos, de forma breve, los indicadores de un aprendizaje comprensivo del campo magnético en primer curso de universidad. En la segunda parte, resumiremos la secuencia de actividades de enseñanza. En la tercera, expondremos los resultados obtenidos al desarrollar la secuencia de enseñanza en el aula. En la última sección, se expondrán algunas conclusiones e implicaciones para la enseñanza.

2. ¿QUÉ SIGNIFICA APRENDER CON COMPRESIÓN EL CONCEPTO DE CAMPO MAGNÉTICO?

La elaboración de una serie de indicadores de aprendizaje del concepto de *campo magnético* ha tenido en cuenta los resultados de la investigación didáctica sobre

concepciones alternativas de los estudiantes, el marco teórico actual y, también, las investigaciones sobre la historia de los problemas que tuvieron lugar en la construcción de la teoría de campo magnético a finales del siglo XIX (Whittaker, 1987; Wandersee, 1992; Almudí, 2002; Guisasaola, Almudí y Furió, 2003).

En primer lugar, una clara comprensión del concepto de *campo magnético* implica *estar familiarizado con los fenómenos magnéticos* producidos por imanes y corrientes eléctricas. Esto nos lleva a establecer los primeros indicadores:

1.1. Reconocer los imanes como fuentes del campo magnético, a través de una serie de características propias de la interacción magnética, como: sólo actúa sobre materiales muy concretos; siempre tiene dos polos; actúa a distancia; hacen girar la brújula.

1.2. Conocer que las líneas de campo magnético de los imanes son cerradas. Saber aplicar el teorema de Gauss en esta situación y, como consecuencia, llegar a reconocer la imposibilidad de que existan «monopolos magnéticos».

1.3. Reconocer que las cargas en movimiento, respecto de un observador inercial, producen campo magnético. En particular, saber explicar de forma cualitativa, el campo magnético de diferentes fenómenos como: una carga en movimiento, intensidad de corriente eléctrica en un circuito cerrado, hilo largo por el que pasa una corriente eléctrica, espira de corriente, solenoide.

La familiarización con los fenómenos magnéticos lleva a plantearse un análisis cuantitativo de estos fenómenos y esto implica:

2.1. Saber analizar de forma cuantitativa el campo magnético producido por una barra imanada.

2.2. Saber analizar y expresar de forma cuantitativa el campo magnético creado por: a) una carga móvil; b) un elemento de corriente; c) un hilo de corriente; d) una espira; e) un solenoide.

Los dos indicadores anteriores suponen utilizar con significado las leyes de Biot y Savart, y Ampère. Así mismo, se han analizado dos fuentes aparentemente distintas del campo magnético que, sin embargo, son una sola y que implica:

3. Saber relacionar el campo magnético de una espira y el de un imán, a través, en una primera aproximación, del modelo electromagnético de la materia de Ampère. Además, será necesario conocer los límites de este modelo explicativo y las características principales de modelos posteriores.

Los indicadores que hemos comentado constituyen un universo de conceptos y relaciones que forman el marco conceptual de la interacción electromagnética estacionaria. Sin embargo, también existen exigencias epistemológicas y actitudinales que no pueden soslayarse en un aprendizaje comprensivo de los conocimientos científicos. Estas exigencias de aprendizaje son:

4.1. Conocer que los conceptos científicos se introducen con el propósito de resolver problemas de interés científico y social.

4.2. Utilizar reiteradamente las estrategias del trabajo científico en el caso de las interacciones electromagnéticas (analizar situaciones problemáticas, concebir hipótesis de trabajo, diseñar y realizar experimentos, obtener modelos con las limitaciones adecuadas, interpretar físicamente datos numéricos, análisis crítico de proposiciones, comparar sus avances con los de su entorno más próximo priorizando, por ejemplo, el trabajo cooperativo ...).

4.3. Saber analizar aplicaciones CTS que permitan contextualizar la teoría aprendida y que permita a los futuros ingenieros, como ciudadanos, adoptar actitudes responsables hacia el desarrollo tecnológico y las implicaciones de carácter social que conlleva.

Estos indicadores de aprendizaje han de terminar concretándose en una planificación de actividades y tareas para trabajar en el aula los contenidos de aprendizaje seleccionados. Esto lo presentamos en el siguiente apartado.

3. SECUENCIA DE ACTIVIDADES PARA LA INTRODUCCIÓN DEL CONCEPTO DE CAMPO MAGNÉTICO

Nuestra secuencia de actividades parte de los indicadores de comprensión diseñados y tiene en cuenta el contexto de investigación en el que surgen los problemas. Se pretende evitar una visión reduccionista de la naturaleza de la ciencia más preocupada por los resultados de la investigación científica que por sus problemas y métodos.

Todo lo anterior sirve para fundamentar una secuencia de contenidos de un curso de introducción al campo magnético en primer curso de universidad (Almudí, 2002) y que se presenta en la tabla 1.

De acuerdo con las características de la naturaleza de la ciencia mencionadas, es necesario tener en cuenta que el cuerpo de conocimientos del tema supone mucho más que aprender un conjunto de conceptos y teorías, y que «hacer ciencia» en la clase incluye procesos de culturización en una comunidad que tiene sus propias formas de conocimiento, expresión y validación (Latour y Woolgar, 1995; Jiménez-Aleixandre, 1998). El proceso de interacción de los grupos de estudiantes con el material, entre ellos y con el profesor implica la familiarización con la cultura científica y cambios en el discurso de las personas y del grupo de trabajo.

Vamos a mostrar, a modo de ejemplo, el esquema de la secuencia de actividades para el apartado 1 del programa (Tabla 2) y el desarrollo en clase de algunas de las actividades propuestas. Como ya se dijo con anterioridad, el conjunto de actividades que aparecen en la tabla 2 son sólo una muestra de todas las que se proponen en el «Programa de Actividades». En dicho programa proponemos otros diseños experimentales para obtener diferentes espectros

magnéticos. De cualquier forma, el conjunto de todos ellos tiene, entre otros, un objetivo claro, que es mostrar las características propias de las líneas de campo en el ámbito del magnetismo estacionario e intentar superar las dificultades de aprendizaje que la investigación didáctica ha mostrado reiteradamente (Törnkvist, Petterson y Transströmer, 1993; Pocovi y Finley, 2002). Estas actividades, aunque inspiradas en los libros de texto y trabajos de investigación, se han desarrollado específicamente para esta investigación. La principal fuente de inspiración ha sido el libro de texto de Chabay y Sherwood (1995).

Antes de realizar las actividades A.8 y A.9, los estudiantes han constatado que el campo magnético de un imán presenta particularidades propias y diferentes de la interacción eléctrica estudiada en las lecciones anteriores. Ahora, en el proceso de resolución de las actividades A.8 y A.9., se verá la necesidad de introducir nuevos conocimientos, como el principio de superposición para la interacción electromagnética y las características del campo magnético de un imán. Antes de continuar, queremos hacer notar que, aunque los estudiantes ya han trabajado en otras actividades cómo se comporta un imán muy largo, en relación a las dimensiones de sus polos (la fuerza de interacción entre polos de dos imanes depende del inverso del cuadrado de la distancia), ahora nos interesa destacar el caso que proponemos (dipolo magnético), que es el más habitual, para compararlo, más tarde, con el campo que crea una espira de corriente en su eje de simetría. Reproducimos a continuación el desarrollo en clase.

Todos los grupos trabajan la actividad 8 y calculan con el vector campo magnético de la tierra y el ángulo de desviación de la brújula el campo magnético producido por el imán:

Secretario del Grupo 11: Ya sabemos que el vector intensidad de campo producido por un imán está en dirección horizontal y, por tanto, podemos formar un triángulo rectángulo. Por tanto, tendremos que $B_{\text{imán}} = B_{\text{tierra}} \tan \theta$. El profesor pregunta, a los demás grupos, si han calculado de esta manera el campo magnético del imán y los resultados obtenidos.

Representante del Grupo 6: Sí, nosotros también lo hemos hecho así y nos sale un valor de $3,5 \cdot 10^{-5}$ T para la distancia de 18,3 cm.

Secretario del Grupo 2: Nosotros tenemos el mismo resultado y, para la distancia doble, nos sale $0,42 \cdot 10^{-5}$ T.

Los grupos dialogan entre sí y expresan su acuerdo sobre los resultados. Sólo dos grupos tienen que rectificar debido a problemas de cálculo. El profesor pregunta: ¿Qué principio físico, que también se cumple en otras interacciones de la naturaleza, nos ha permitido calcular el campo magnético del imán?

Los grupos de trabajo tratan de responder la pregunta. Después de unos minutos los representantes de cada grupo dan sus explicaciones:

Representante del Grupo 6: No entendemos la pregunta, nosotros hemos calculado los componentes de los vectores de acuerdo con lo que hemos visto en otros temas y en éste.

Representante del Grupo 2: Bueno creemos que se trata de justificar por qué podemos calcular los vectores en ese punto y creo que se refiere al principio de superposición que hemos visto en las lecciones de campo eléctrico. Como los efectos son independientes, se pueden sumar en un mismo punto.

Después, otros grupos dan su opinión a favor y se llega a un consenso. El profesor interviene en la discusión estimulando que los estudiantes justifiquen la validez de la forma de obtener el campo del imán de acuerdo con los principios ya estudiados. Al final, el profesor realiza un resumen de todas las aportaciones y consensos logrados: bien, en este caso concreto parece necesario suponer que en la interacción magnética se cumple también el principio de superposición que ya hemos estudiado en la interacción eléctrica y en la gravitatoria. Además hay que saber que la comunidad científica ha experimentado con muchos y diferentes fenómenos de interacción electromagnética y se ha llegado a la conclusión de que el principio de superposición se cumple. Así pues, lo utilizaremos para analizar este tipo de fenómenos.

A continuación el profesor les dice que profundicen en la búsqueda de una expresión cuantitativa para el campo magnético producido por un barra magnética y que respondan a la actividad 9. Después de trabajar, se inicia un turno de puesta en común:

Representante del Grupo 5: Bueno, en la actividad anterior hemos obtenido que, a mayor distancia, menos intensidad de campo magnético. Así pues, habrá una relación inversa.

Tabla 1
Programa para iniciación al estudio del campo magnético en primer curso de universidad.

Introducción

- ¿Qué interés puede tener el estudio de los fenómenos magnéticos?
- ¿Cómo detectar un campo magnético?

Primera parte: Fenómenos magnéticos

1. Imanes e interacción magnética
2. ¿Existen otras fuentes del campo magnético estacionario distintas a los imanes?
3. Campo magnético creado por diferentes configuraciones de corriente.
4. ¿Cómo explicar la unicidad de las fuentes del campo magnético estacionario? Modelo magnético de la materia.: modelo de Ampère. Limitaciones del modelo de Ampère. Otros modelos posteriores.
5. Problemas prácticos que puede resolver el conocimiento de los fenómenos magnéticos

Segunda parte: Profundización en el estudio cuantitativo del campo magnético estacionario

6. ¿Existe alguna relación cuantitativa entre las líneas de campo magnético y su fuente? Ley de Ampère.
7. Naturaleza relativista del campo magnético.
8. Nuevos interrogantes que plantean los conocimientos alcanzados que darán lugar al estudio de las fuerzas magnéticas.

Representante del Grupo 8: Estamos de acuerdo, a mayor distancia menor campo. Pero, además en electricidad hemos visto que el campo eléctrico de una carga puntual es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, así que creemos que en este caso pasará algo similar. Así pues, el valor del campo y la distancia estarán relacionados $B = K 1/d^2$

Representante del Grupo 1: Nosotros al principio hemos pensado lo mismo, pero los resultados que hemos obtenido en la actividad 8 no están de acuerdo con esa relación. Si utilizamos los dos datos que hemos obtenido nos sale que, al duplicar la distancia, el campo tiene una relación $3,5/0,42 = 8,3$, que es parecido a 2^3 . Según este resultado, la relación entre campo y distancia será: $B = K 1/d^3$.

Después de una discusión entre los grupos, y de aceptarse la propuesta del grupo 1, el profesor resume y reformula las diferentes aportaciones y les pregunta si recuerdan algún otro campo ya estudiado cuya intensidad variaba de la misma forma. Los estudiantes reflexionan sobre la pregunta, y 5 de los 11 grupos son capaces de relacionar los cono-

cimientos de este tema con los adquiridos en el tema de electricidad. Estos grupos se expresan de la siguiente manera:

Representante del Grupo 5: Hemos recordado que, cuando veíamos *campo eléctrico*, el dipolo eléctrico producía un campo cuya dependencia con la distancia era la misma.

El profesor resume lo trabajado en las actividades y establece la conclusión de que, en el caso del campo magnético de un imán, la dependencia con la distancia no es similar a la del campo eléctrico de una carga puntual sino que se parece al del dipolo eléctrico. El profesor indica que, debido a esta similitud, los libros de texto denominan al imán *dipolo magnético* y advierte que esta similitud será interesante de estudiar y que se trabajará en otras actividades de la secuencia.

Vamos a mostrar otro ejemplo de desarrollo en el aula para la secuencia de actividades del apartado 4 del programa (Tabla 3)

Tabla 2
Secuencia de actividades para el apartado 1 del programa.






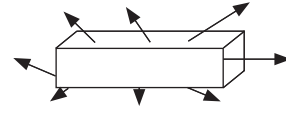
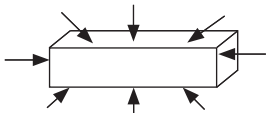

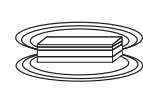

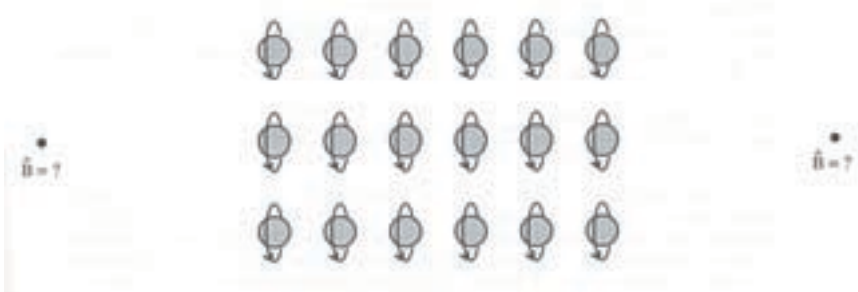
Ejemplo de actividades	Objetivos
<p>A.5. Antes de poner el imán, la brújula está orientada hacia el Norte (Fig. a), pero, después de poner un imán a su lado, su orientación cambia (Fig. b). ¿Cuál será la dirección y sentido del campo magnético creado por el imán?</p> <p>Cuando se da la vuelta al imán (giro de 180°), ¿qué dirección tomará la brújula?, ¿cuál será la dirección y sentido del campo magnético del imán?</p> <p>a)  b) </p> <p>A.6. ¿Qué sucederá en los siguientes supuestos?: a) si enfrentamos dos imanes iguales por su polo Norte; b) si los enfrentamos por sus polos distintos; c) si colocamos una brújula en el espacio comprendido entre los dos imanes (a igual distancia de ambos), cuando están enfrentados por su polo Norte.</p> <p>A.8. El campo magnético en una zona de la Tierra es de $2,5 \times 10^{-5}$ Teslas. Se pone un imán a una distancia de $18,3$ cm de la brújula, y la aguja gira 60° con respecto a la vertical. ¿Cuánto es la intensidad del campo magnético creado por el imán? Si duplicamos la distancia, el ángulo es de 12° respecto a la vertical. ¿Cuánto será ahora la intensidad del campo magnético?</p> <p>a)  $B_r = 2,5 \times 10^{-5}$ b)  $\theta = 60^\circ$ c)  $\theta = 12^\circ$</p> <p>A.9. Como habrás comprobado, el campo magnético decrece con la distancia. ¿Cómo será la dependencia entre la intensidad del campo magnético producido por el imán y la distancia? Explícalo y exprésalo mediante una ecuación.</p> <p>A.11. Nunca se ha encontrado que un imán haya creado un campo magnético cuyo «mapa» de líneas de campo fuese como los mostrados en la figura.</p> <p> </p> <p>¿Qué conclusión podrías sacar acerca de este hecho de la naturaleza?</p> <p>A.12. Las líneas de campo de un imán, ¿también recorren su interior? ¿Cuál de las dos figuras es correcta? ¿Cómo podrías justificarlo?</p> <p> </p> <p>A.13. Teniendo en cuenta las líneas de campo de un imán, aplica el teorema de Gauss para calcular el flujo que pasa a través de una superficie cerrada. Puedes elegir la superficie cerrada que quieras. (Recomendación: recuerda el teorema de Gauss para el campo eléctrico). ¿Cómo interpretarías el resultado obtenido?</p>	<p>1. Reconocer el imán como fuente del campo magnético</p> <p>2. Características de los imanes</p> <p>3. Definición operativa del campo magnético de un imán</p> <p>4. Líneas de campo magnético de un imán</p>

Tabla 3
Secuencia de actividades para el apartado 4 del programa.

Ejemplo de actividades	Objetivos
<p>A.37. Observa las orientaciones de la brújula obtenidas en una experiencia de laboratorio para un imán y un solenoide. ¿Podrías sacar alguna conclusión?</p>  <p>A.40. Si el magnetismo no es más que un efecto de la corriente eléctrica, y sin corriente no puede existir magnetismo, ¿cómo es que a un imán no hay que «enchufarlo» a la corriente para que funcione?</p> <p>A.41. ¿Por qué crees que el científico Ampère sugirió, con acierto, que las corrientes eléctricas eran la causa básica de todo el magnetismo, incluidos la Tierra y los imanes? (Sugerencia: observa el resultado de las actividades previas A.9, A.10, A.12, A.30, A.32, A.33 y A.37).</p> <p>A.42. Si la figura siguiente representa un posible modelo de estructura atómica de los imanes, ¿cómo dibujarías en cada punto de los señalados el campo magnético creado por los átomos? Por otro lado, si a es el radio de la órbita de cada electrón alrededor de su núcleo, ¿cómo se podría calcular el valor de \mathbf{B}?</p>  <p>A.43. El campo magnético teórico que se calcula, basado en el modelo anterior, cuando nos ponemos a una distancia de 18'3 cm del imán, es de aproximadamente T. Compara este resultado con el que medimos en la actividad A.8 y saca conclusiones.</p> <p>A.44. El modelo de Ampère que hemos construido, sabemos que se basa en una simplificación de la realidad, puesto que en él hemos supuesto que alrededor de cada núcleo del material estaba orbitando un solo electrón, y sabemos hoy en día que eso no es así. ¿Cómo se modificaría el modelo explicativo para que respondiese mejor a la realidad?</p> <p>A.48. ¿Para qué crees que Sturgeon, en 1825, introdujo una barra de hierro dentro de un solenoide?</p>	<p>6. Relacionar desde el punto de vista cualitativo el campo magnético de una espira y de un imán.</p> <p>7. Establecer una única fuente del campo magnético.</p> <p>8. Definición del modelo de Ampère.</p> <p>9. Modelo magnético de la materia.</p> <p>10. Aplicaciones CTS.</p>

Al comienzo de la secuencia de actividades, el profesor realiza un resumen de las cuestiones debatidas hasta el momento y recuerda que, en el apartado 1, se analizó el comportamiento de los imanes en cuanto a la creación de campos magnéticos, pero sin reflexionar en profundidad acerca del «porqué» de dicho comportamiento. En los apartados 2 y 3, se estudiaron los campos magnéticos creados por diferentes configuraciones de corriente. Ahora, en el apartado 4, se van a comparar las dos fuentes del campo magnético estudiadas hasta ahora, los imanes y las cargas en movimiento.

Las actividades 37, 40 y 41 tienen como objetivo que los estudiantes expliciten sus ideas sobre la equivalencia entre imanes y corrientes como fuentes del campo magnético. Se trata de que los estudiantes vayan viendo la equivalencia de las dos fuentes y consideren que el modelo propuesto por Ampère no es una «idea feliz» sino que tiene una base racional en el análisis de muchos fenómenos que en principio parecen diferentes y en las aportaciones de otros científicos anteriores. Los estudiantes intervienen en la puesta en común de las actividades interactuando con otros grupos y con el profesor:

Representante del Grupo 5 (actividad 37): Tienen un comportamiento parecido, ya que la brújula se orienta igual con el imán y con el solenoide. Esto quiere decir que ambos generan un campo magnético parecido.

Representante del Grupo 8 (actividad 37): Sí, estamos de acuerdo pero además parece como si en el imán hubiera una corriente eléctrica igual que en el solenoide.

Representante del Grupo 1 (actividad 37): Pero eso no es posible... ya hemos visto que, si hay corriente eléctrica en un cable, se nota porque te da calambre, pero al coger el imán no te da calambre ...

Representante del Grupo 8 (actividad 37): Puede que exista corriente eléctrica en el imán pero que sea muy pequeña y no la notemos .

Representante del Grupo 1 (actividad 37): ... no será tan pequeña cuando puede generar un campo magnético que se detecta con la brújula.

El profesor invita a analizar más preguntas sobre las diferentes hipótesis explicadas por los grupos para los casos de las actividades 40 y 41. Se trata de que las hipótesis de trabajo se apoyen sobre bases racionales y no se elijan por la autoridad del profesor. Al finalizar estas actividades parece que se llega a un consenso de que algún tipo de corriente debe existir en los imanes pero no se sabe muy bien cómo. Para ello el profesor les invita a realizar la actividad 42, donde se expone un primer modelo de Ampère simplificado de la naturaleza magnética de la materia. Esta propuesta parece que clarifica las explicaciones de los estudiantes:

Representante del Grupo 8 (actividad 42): ...si tenemos en cuenta el movimiento de los electrones al girar, se produce un campo magnético muy pequeño pero, al sumar el campo magnético de todos los electrones, sucede que el campo resultante se nota desde el exterior ...

Representante del Grupo 1 (actividad 42): Estamos de acuerdo con el modelo, ya que el movimiento de las cargas de los electrones no da

calambre, pero la suma de los pequeños campos magnéticos sí la podemos notar, como hemos visto en diferentes experimentos.

A lo largo de todo el programa existen *actividades de evaluación y feedback* que permiten a los estudiantes conocer el aprendizaje que van adquiriendo y facilitan al profesor tomar datos sobre la situación de aprendizaje de los estudiantes. Algunas actividades de este tipo se pueden ver en los anexos 1 y 2. En otras actividades utilizamos *aplicaciones CTS* que pueden ser explicadas (generalmente de forma cualitativa) utilizando los nuevos conceptos estudiados.

4. PLAN DE INSTRUCCIÓN EMPLEADO CON LOS GRUPOS EXPERIMENTALES

La propuesta innovadora se desarrolló dentro de un contexto rígido de horario y programa básico establecidos para la asignatura de Fundamentos Físicos de la Ingeniería, que era el mismo para todos los grupos experimentales y de control. Esto nos parece una condición necesaria tanto para evaluar la propuesta innovadora como para su viabilidad en cualquier curso de física en primer curso de universidad. La propuesta buscó un equilibrio entre los temas a impartir durante el curso, el programa innovador y el tiempo de docencia disponible. Esto significa que dicha propuesta innovadora no se caracteriza por cambios espectaculares en la infraestructura y recursos que se utilizan habitualmente en el sistema educativo, sino por cambios cualitativos en las estrategias de enseñanza empleadas en el aula, por las actividades propuestas a los estudiantes en el programa y por la secuenciación de los contenidos conceptuales y metodológicos.

El desarrollo en el aula fue realizado por tres profesores, dos de ellos ajenos a la investigación pero expertos en la aplicación de programas de actividades y que pertenecen al equipo de enseñanza que utiliza esta metodología de trabajo. La clase se organizó en pequeños grupos de 4 estudiantes que debaten y realizan las actividades propuestas mediante puestas en común de toda la clase bajo la dirección y orientación del profesor. Los estudiantes trabajaron durante todo el curso con la misma metodología, por lo que no supuso para ellos ninguna novedad la forma de trabajar la unidad «Fuentes del campo magnético». Esta unidad se desarrolló durante un período de tres semanas (12 horas).

Dos de los autores de este trabajo realizaron las actividades correspondientes a la unidad «Fuentes del campo magnético» y diseñaron un curso de tutela para familiarizar a los profesores con los objetivos y contenidos del programa y con las dificultades de aprendizaje para conseguirlo. Uno de ellos tuteló a los dos profesores externos a la investigación.

El programa de tutoría se ha realizado en 4 sesiones de trabajo de 2,30 horas cada una. Estas sesiones proporcionan a los profesores oportunidades para reflexionar sobre los conceptos implicados en el tema y profundizar en su comprensión, para analizar las implicaciones pedagógicas

cas, para familiarizarse con los materiales que se han diseñado y realizar las aportaciones que consideren oportunas de acuerdo con su experiencia de aula y para considerar métodos de evaluar el aprendizaje logrado por los estudiantes. Por ejemplo, al comenzar a analizar el programa, los profesores expresan sus dudas respecto a comenzar el tema «Magnetismo» analizando sus fuentes, a diferencia de lo que ellos, y muchos libros de texto hacen, al comenzar por los efectos (fuerzas) y seguir con las fuentes (campo). Sin embargo, la discusión posterior permitió hacer ver a los profesores que la secuenciación habitual presenta algunas dificultades si se tienen en cuenta las concepciones alternativas de los estudiantes. De acuerdo con Salinas y Velasco (1997), «la mayoría de los estudiantes asumen que es necesario que haya un efecto para aceptar la existencia de una causa virtual». Otros estudios sobre dificultades de los estudiantes en magnetismo convergen con la idea anterior y ponen de manifiesto que la mayoría de los estudiantes desconoce o no sabe justificar la fuente del campo magnético y, como consecuencia, no saben con seguridad sobre qué propiedad de la materia actúa dicho campo (Guisasola, Almudí y Zubimendi, 2004; Maloney et al., 2001). Al final de la discusión, los profesores estuvieron de acuerdo en realizar una secuenciación que comience por las fuentes del campo y continúe por sus efectos (fuerza magnética). De esta forma, se podría evitar fomentar posibles ideas alternativas del tipo «si no hay fuerza, no hay campo» (Viennot, 1996).

Durante las reuniones se adoptaron decisiones sobre las estrategias de enseñanza de acuerdo con las características del aprendizaje como investigación orientada. Más que analizar los conceptos teóricos del tema aislados se analizaba los objetivos conceptuales y metodológicos de aprendizaje contextualizados en las actividades del programa.

La tercera reunión y la cuarta se realizaron cuando los profesores estaban desarrollando el tema en el aula, para reflexionar sobre las dificultades que iban surgiendo en ésta. Por ejemplo, fue necesario insistir en las actividades que incidían en el interés de lo estudiado a través de las relaciones ciencia-técnica-sociedad, ya que, si bien eran consideradas muy interesantes por los profesores, a la hora de llevarlas a la práctica se mandaban leer en casa y se comentaban de forma rápida. La razón que se aducía para justificar esta contradicción entre lo que se piensa y lo que se había realizado era la falta de tiempo. Sin embargo, esto podría indicar una carencia desde el punto de vista metodológico (la importancia de las relaciones CTS para fomentar una actitud positiva en el alumnado) y epistemológico (la importancia de las relaciones CTS en el desarrollo de la ciencia), por lo que fue necesario discutir y resaltar la importancia de las actividades mencionadas.

5. DISEÑO EXPERIMENTAL

La muestra de estudiantes

La investigación se desarrolló durante los cursos 1999-2000 y 2000-2001 en el curso de Fundamentos Físicos

de la Ingeniería de la titulación de Ingenieros Técnicos en Electrónica Industrial de la Universidad del País Vasco - Euskal Herriko Unibertsitatea (Almudí, 2002). Los estudiantes del curso tuvieron que superar la prueba de selectividad para entrar en la Universidad y tenían una media de edad de 19 años.

Todos los estudiantes habían seguido anteriormente al menos dos cursos de física sobre temas de electromagnetismo en la enseñanza secundaria. Sin embargo, su conocimiento del área puede ser descrito por un aprendizaje memorístico de conceptos, leyes, reglas y procedimientos, que puede servirles para resolver problemas estándar y ejercicios de examen, pero no tienen una comprensión suficiente para aplicarlos a diferentes contextos y fenómenos (Guisasola, Almudí y Ceberio, 2001; Guisasola, Almudí y Zubimendi, 2003).

Los resultados de la investigación incluyen 3 grupos experimentales en el segundo año (2000-2001) de aplicación en el aula. Dos de ellos tenían alrededor de 35 alumnos y se ubicaban en la Escuela de Ingeniería Técnica Industrial de Bilbao. En adelante los denominaremos Grupo 1 y Grupo 2. El tercer grupo estaba formado por alrededor de 50 estudiantes y se ubicaba en la Escuela Universitaria Politécnica de San Sebastián. En adelante lo denominaremos Grupo 3. Así mismo, en el curso 2000-2001 se incluyeron 2 grupos de control formados por 65 estudiantes con las mismas características que los experimentales y que estudiaban el mismo curso, pero su enseñanza seguía la metodología habitual en las clases universitarias de transmisión verbal de conocimientos ya elaborados. Estos dos grupos los denominaremos Grupo C.

Instrumentos para evaluar el aprendizaje logrado por los estudiantes experimentales

De acuerdo con el modelo de enseñanza-aprendizaje expuesto, el aprendizaje logrado por los estudiantes no puede mostrarse únicamente a través del mejor aprendizaje de los contenidos conceptuales. En efecto, el aprendizaje de los estudiantes será significativo en la medida que su forma de identificar y analizar contextos donde se aplican determinados conceptos se aproxime a la de los científicos. Por lo tanto, para mostrar la plausibilidad y posibilidades de la enseñanza realizada, será necesario constatar, al mismo tiempo, las mejoras en los contenidos conceptuales y metodológicos. Para ello se han diseñado dos tipos de pruebas.

La primera prueba consiste en un cuestionario de 7 ítems (Anexo 1) que recogen los objetivos de aprendizaje propuestos en el tema y algunos de los cuales han sido utilizados en un trabajo anterior para analizar dificultades de aprendizaje de la teoría magnética (Guisasola, Almudí y Zubimendi, 2003). Las cuestiones aquí expuestas han sido analizadas por los autores y otros dos profesores de reconocido prestigio del departamento de Física a partir de protocolos de corrección cuyos criterios han sido previamente discutidos. El cuestionario se pasó a los estudiantes un mes después de impartirse la lección en situación de examen.

La segunda prueba consiste en proponer tres situaciones problemáticas (Anexo 2) para que sean interpretadas por 6 grupos de estudiantes de las clases experimentales elegidos arbitrariamente. Estas situaciones se presentaron en el laboratorio como clases prácticas. Al finalizar la discusión, los estudiantes debían realizar un informe explicando sus conclusiones y justificándolas. Así mismo, las discusiones de los grupos de estudiantes fueron gravadas con su consentimiento.

Las dos pruebas anteriores tratan de evaluar la posible mejora del aprendizaje en los aspectos conceptuales y metodológicos. Sin embargo, otro de los aspectos en los que incide el modelo de aprendizaje como investigación orientada es el actitudinal, que intenta favorecer una actitud positiva hacia la física y su aprendizaje. En consecuencia, se diseñó una tercera prueba que consiste en un cuestionario con diversas sentencias en relación con los contenidos que se han trabajado, la forma de trabajar en el aula y la satisfacción global con la enseñanza-aprendizaje de la asignatura. Los estudiantes deben elegir en una escala Likert, adaptada a una valoración más interiorizada por ellos, que va de 0 a 10, según su acuerdo o su desacuerdo con las sentencias del cuestionario.

Análisis de los datos

El análisis de la primera prueba se basa en métodos convencionales de comparación entre las medias de respuestas consideradas como correctas entre los grupos experimentales y de control. Para decidir si existen o no diferencias significativas entre los grupos experimentales y los de control, se utilizó el parámetro estadístico χ^2 para el nivel de confianza habitual del 5% o menor.

En la segunda prueba, se han analizado los informes y las conversaciones gravadas para valorar los razonamientos y argumentos empleados por los equipos de trabajo de estudiantes al enfrentarse a problemas (segunda prueba). Las discusiones han sido literalmente transcritas a un protocolo y el análisis del mismo se ha realizado tomando como referentes las categorías de respuesta que se encontraron en trabajos de investigación anteriores sobre las dificultades de aprendizaje de la teoría del campo magnético (Guisasola, Almudí y Zubimendi, 2003; Meneses y Caballero, 1995; Maloney et al., 2001). A lo largo del análisis, las categorías previas fueron matizadas y reformuladas de acuerdo con los resultados obtenidos (Ericsson y Simon, 1984; De Jong, 1995). Esta segunda prueba se pasó sólo a los estudiantes de los grupos experimentales, ya que se pretende analizar los razonamientos empleados por estos estudiantes y los recursos metodológicos a utilizar para validar sus explicaciones.

En la tercera prueba se utilizaron los métodos convencionales de análisis de un prueba Likert (Sierra, 1995). Así mismo, esta tercera prueba fue contestada únicamente por los estudiantes de las clases experimentales, ya que el tipo de preguntas no respondía a la dinámica de clase seguida por los estudiantes de los grupos de control. Este cuestionario fue contestado por los estudiantes al final del curso poniéndonos en la situación más desfavorable

para la evaluación de la enseñanza impartida. La investigación señala que las expectativas y actitudes positivas de los estudiantes hacia la enseñanza-aprendizaje de las ciencias disminuye a lo largo del curso académico.

El análisis de los datos refleja el aprendizaje logrado por los estudiantes al desarrollarse una secuencia de enseñanza que se realizó en dos escuelas de ingeniería técnica de la misma Universidad y con tres profesores. Queremos resaltar que los temas y el nivel enseñados en todos los grupos fueron similares y marcados por la dirección del Departamento de Física Aplicada, que es la encargada de certificar el programa de enseñanza. Así mismo, el nivel de partida de los estudiantes en todos los grupos puede ser considerado similar y con un nivel de conocimiento estándar de acuerdo con un estudio anterior dentro de esta misma investigación (Guisasola, Almudí, Zubimendi, 2004). En resumen, pensamos que los cuestionarios y datos cuantitativos utilizados en esta investigación son válidos para la evaluación de la propuesta innovadora que presentamos y para su comparación con la enseñanza habitual.

6. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

Resultados del cuestionario para comparar el aprendizaje conceptual logrado por los grupos experimentales y de control

La tabla 4 recoge los resultados del análisis comparativo entre las respuestas dadas a las cuestiones del anexo I por sendas muestras de estudiantes sometidos a la nueva propuesta de aprendizaje (grupo 1, 2 y 3) y a la enseñanza habitual (grupo C) de la teoría de campo magnético estacionario.

Como podemos observar en el gráfico 1, las diferencias, para todos los ítems entre los grupos experimentales y el grupo de control son estadísticamente significativas.

El estadístico χ^2 ha sido calculado para el grupo de control y el resultado más desfavorable de los grupos experimentales, obteniéndose en todos los casos que las diferencias son significativas con un nivel de confianza menor al 1%. Las dificultades que presentan los estudiantes al responder a las cuestiones planteadas ya han sido comentadas en trabajos anteriores (Guisasola, Almudí y Ceberio, 2001; Guisasola, Almudí y Zubimendi, 2003). Aquí nos vamos a limitar a constatar que los resultados obtenidos en los grupos experimentales apoyan las posibilidades de mejora del aprendizaje de la teoría del campo magnético con la nueva propuesta de enseñanza. En particular, se observa una mejora notable en el conocimiento significativo de las fuentes del campo magnético (ítems 1, 2, 3 y 5), lo que influye directamente en una mejora del conocimiento acerca de sobre qué actúa el campo magnético (ítems 2, 3 y 4). Otro aspecto que mejora es el conocimiento del funcionamiento de los imanes (ítems 2 y 3), que se traduce en que los estudiantes experimentales relacionan el imán con la otra

fuentes del campo magnético (las cargas en movimiento). También es significativa la mejora en conocer las similitudes y diferencias de los campos eléctricos y magnéticos (ítem 5) y en la comprensión del aspecto relativista del campo magnético (ítem 6).

Los favorables resultados obtenidos no deben ser sobrevalorados, ya que, en algunos ítems como 2, 3 y 6, sólo un poco más de la mitad de los estudiantes puede considerarse que tiene el nivel de conocimiento establecido en los objetivos. Así mismo, es necesario evaluar estos resultados de conocimiento conceptual con los resultados de la segunda prueba que se refiere a conocimientos conceptuales y procedimentales donde los estudiantes deben razonar sobre la forma de producir y validar sus explicaciones. Estos resultados los indicamos a continuación.

Resultados de los informes escritos y entrevistas cuando los grupos de estudiantes interpretan diferentes situaciones problemáticas

Las situaciones problemáticas presentadas a los estudiantes se pueden ver en el anexo 1. Aquí presentamos los resultados de la primera situación problemática, que tiene como objetivo averiguar si, ante diferentes situaciones, que no son de carácter memorístico, y con la dificultad añadida de que intervienen diferentes tipos de materiales

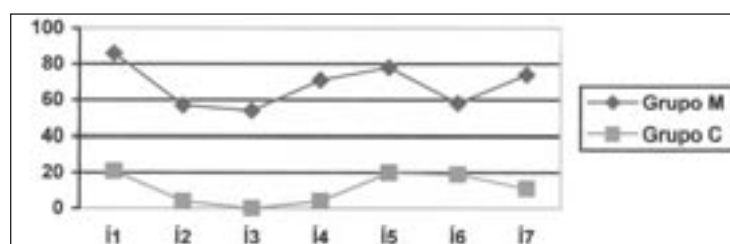
(aislantes, conductores, ferromagnéticos...), los estudiantes identifican razonadamente las fuentes del campo eléctrico y magnético, distinguiéndolas entre sí. En todos los casos partimos de suponer que la canica está en reposo y así lo consideraron todos los grupos de estudiantes. El proceso de razonamiento acorde con la teoría física establece que en los casos *a* y *b* se crea un campo eléctrico y ninguno magnético, ya que la canica está cargada, en reposo, y el material es madera o cobre. En el caso *c*, la explicación correcta establece que no existe un campo eléctrico, ya que no tiene carga eléctrica neta; en cuanto al campo magnético, depende de si la canica de hierro ha sido tratada recientemente o no por un campo magnético externo, en cuyo caso la respuesta sería «sí» en el primer supuesto, y «no» en el segundo. Esto se debe a que la canica de hierro es de un material ferromagnético «blando», lo que significa que, cuando está sometido a un campo magnético externo, se magnetiza y entonces se comporta como «un imán», pero, si el campo externo desaparece, sus «dominios» vuelven a su antigua posición aleatoria y deja de crear un campo magnético no nulo en el exterior (ya no se comporta como un imán).

En los informes, los 6 grupos realizan un razonamiento correcto para explicar los dos primeros apartados de la pregunta. Respecto al apartado *c* existen discrepancias dentro de los grupos. Veamos un ejemplo representativo de los informes escritos realizados por los grupos.

Tabla 4
Resultados obtenidos en el cuestionario por los grupos experimentales y de control.

Número de ítem y concepto	Porcentaje de respuesta correcta (%)					
	Grupo 1 N = 35	Grupo 2 N = 35	Grupo 3 N = 50	Grupo M* N = 120	Grupo C N = 65	χ^2
1. Fuentes del campo magnético	97	97	71	86	21	74,99
2. Funcionamiento de un imán	70	66	41	57	4	48,29
3. Relación entre las fuentes del campo magnético	55	57	52	54	2	54,26
4. Sobre qué actúa el campo magnético	80	70	65	71	4	74,11
5. Confusión entre campo y fuerza	82	94	63	78	20	58,84
6. Confusión entre efectos eléctricos y magnéticos	56	57	60	58	19	27,17
7. Relatividad del campo magnético	80	74	70	74	11	71,11

Figura 1
Resultados de cada ítem para la media de grupos experimentales y el grupo de control.



Informe escrito del Grupo 2

Una canica de madera con carga Q positiva genera un campo eléctrico tal y como vimos en la lección de campo eléctrico (las cargas eléctricas son la fuente del campo eléctrico) y sólo generaría un campo magnético si no estuviese en reposo.

Una canica de cobre con carga Q positiva, si está en reposo, genera un campo eléctrico y, si está en movimiento, genera un campo eléctrico y otro magnético. En este caso ya sabemos que la canica está en reposo, por tanto, sólo hay campo eléctrico.

Una canica de hierro sin carga eléctrica neta no crea un campo eléctrico porque no tiene carga. Con respecto al campo magnético, no llegamos a un acuerdo:

Dos de nosotros pensamos que, al estar la canica en reposo, no hay campo magnético y además, aunque estuviera en movimiento tampoco habría porque la carga neta es cero.

Los otros dos componentes del grupo piensan que, en este, caso hay que tener en cuenta que la canica es de un material ferromagnético y que, por tanto, se generará un campo magnético. Es como si la canica fuera un imán.

El punto de desacuerdo es que unos consideramos que la canica de hierro no es como un imán, ya que hay muchos objetos de hierro que no son imanes. Sin embargo, los otros dos miembros del grupo dicen que la estructura interna del hierro hace que se comporte como un imán.

Vamos a mostrar algunos fragmentos de las entrevistas donde podemos profundizar en los razonamientos de los informes escritos. Veamos algunos fragmentos de la discusión mantenida por uno de los grupos que razona correctamente para la canica de madera y de cobre.

Protocolo 1. Seguimiento de la discusión del grupo 3 sobre las fuentes del campo eléctrico y magnético para la canica de madera y de cobre

01 *Laura*: Una canica de madera con carga Q positiva genera un campo eléctrico porque tiene carga eléctrica y no genera un campo magnético.

04 *Gentza*: De acuerdo, ya que la canica de madera está quieta, luego no genera campo magnético.

06 *Sergio*: Resumiendo: que una canica de madera con carga Q positiva generará un campo eléctrico debido a que se encuentra cargada y, al estar quieta, sin movimiento, no generará campo magnético y además se trata de un material dieléctrico y la carga se quedará acumulada en el interior.

11 *Laura*: ...efectivamente, estoy de acuerdo.

12 *Guillermo*: ... ahora tomamos la canica de cobre con carga Q . También generará un campo eléctrico.

14 *Gentza*: Sí claro, aquí también tenemos un carga eléctrica y, lo mismo que en el caso anterior, como está en reposo, no genera un campo magnético.

17 *Guillermo*: Pero en este caso el material es de cobre. ¿Tiene alguna influencia?

19 *Laura*: Si está en reposo, no hay campo magnético.

20 *Gentza*: No estoy seguro, a lo mejor hay un campo magnético pero muy débil debido al pequeño movimiento de electrones que hay en el cobre.

22 *Sergio*: Yo digo lo mismo que Laura. Además hemos visto que el cobre no es un material ferromagnético y, por tanto, el movimiento de sus electrones no produce un campo magnético. Además, la canica de cobre está en reposo.

26 *Gentza*: Sí me parece que esto es así. Si estáis de acuerdo, ponemos esto en el informe.

En este protocolo hay unanimidad en emplear un razonamiento correcto para justificar sus respuestas, aunque

Guillermo y Gentza tienen dificultades con la canica de cobre como posible fuente del campo magnético. Gentza (líneas 20 y 22), basándose en un modelo de Ampère excesivamente simplificado, comenta que el material de cobre crearía un campo magnético pequeño (lo que es verdad pero no indica su orden de magnitud para entender que se puede despreciar). Sergio responde correctamente (líneas 22-25) a la cuestión planteada por Guillermo aunque no termina de explicitar los argumentos. Parece que al final se logra un consenso para escribir el informe. Sin embargo, veremos que las dificultades que han surgido, al tener en cuenta el material de la canica (madera o cobre), aumentan cuando se considera la canica de hierro.

Para el caso de la canica de hierro surgen dificultades en las explicaciones y sólo la mitad de los grupos entrevistados dio una explicación correcta. Veamos un ejemplo de razonamiento incorrecto.

Protocolo 3. Seguimiento de la discusión del grupo 3 sobre las fuentes del campo eléctrico y magnético para la canica de hierro

01 *Sergio*: Como la canica no tiene carga, el campo eléctrico será nulo. Para el campo magnético, el hierro es una sustancia ferromagnética y se supone que tiene los momentos de los electrones anulados, de sus pares, de sus espines... yo creo que no crea campo magnético.

05 *Guillermo*: No crea campo magnético porque está quieta y los momentos se anulan, no hay nada en el interior del material.... los pares que dan vueltas, es que no sé como explicarlo.

08 *Laura*: No crea un campo eléctrico porque no tiene carga y no crea un campo magnético porque está en reposo.

10 *Gentza*: Yo creo que no genera un campo eléctrico porque se trata de un objeto conductor que está en reposo, en este caso es hierro, por tanto, el campo eléctrico en su interior sería cero y en su exterior lo mismo. En cuanto al campo magnético estoy pensando que sí que generaría un campo magnético, porque a nivel atómico, las cargas están moviéndose en movimientos giratorios y de espín y eso sí que genera un campo magnético aunque sea pequeño.

17 *Guillermo*: No, no, yo creo que no, pero no sé muy bien por qué, porque además está quieto...

19 *Sergio*: Algo parecido me pasa a mí. Si el cuerpo está quieto, no hay cargas en movimiento y no hay campo magnético.

21 *Laura*: Si es una canica de hierro, es un material ferromagnético ¿no? Y entonces a lo mejor sí que genera un campo magnético... Creo que cambio y estoy de acuerdo con Gentza.

En la discusión final de este apartado parece que los razonamientos que planteó Gentza, respecto al campo magnético y en los cuales se reafirma (líneas 10-16) han podido influir de alguna manera en sus compañeros. Por ejemplo, tanto Sergio (líneas 1-4) como Guillermo (líneas 5-7) muestran ahora argumentos relacionados con el modelo atómico de la materia, cosa que no habían hecho en sus tesis iniciales (protocolo 1); sin embargo, no están muy seguros de este enfoque y al final afloran de nuevo sus tesis iniciales relacionadas con el movimiento del material (líneas 17-20). Por el contrario, Laura, que parecía muy firme en sus convicciones (líneas 8-9), parece que, al oír a sus compañeros introducir en la discusión el factor del ferromagnetismo, cambia de opinión. Ella ahora argumenta que, por tratarse la canica de hierro de un material ferromagnético, producirá

un campo magnético en cualquier circunstancia. Parece que este grupo de estudiantes confunde en sus explicaciones los niveles macroscópico (la canica está en reposo) y microscópico (los electrones dentro de la canica están en movimiento) en relación con la fuente del campo magnético.

A continuación vamos a mostrar un ejemplo de razonamiento correcto al analizar la canica de hierro.

Protocolo 4. Seguimiento de la discusión del grupo 4 sobre las fuentes del campo eléctrico y magnético para la canica de hierro

01 *Libertad*: No sé. Sigo sin tenerlo muy claro. En mi opinión, si las cargas están en movimiento en el mismo sentido, deberían generar campo; aunque igual es demasiado pequeño para atraer a otros cuerpos. Pero creo que generaría campo magnético.

05 *Jonatan*: Yo creo que no es así porque, para que ese campo, o sea esos electrones, que vienen girando, se pongan todos alineados tiene que afectarle un campo magnético externo, si no, no se van a poner todos alineados; siempre se van a estar, algunos, más alineados que otros. Y eso es lo que pasa con los materiales ferromagnéticos. Y, claro, si no les afecta un campo magnético externo, no se van a poder alinear; y no van a crear un campo contrario al anterior, o del mismo sentido.

13 *Edorta*: Quería decir que, siempre que haya una carga que no esté apareada con otra, se generará campo, pero se tiene que cumplir que no esté apareada y que giren en sentidos opuestos.

16 *Libertad*: No estoy con Edorta, de momento, vamos. No, porque aparte... porque yo creo que una condición indispensable para generar campo magnético es que la canica esté en movimiento.

19 *Edorta*: También quería decir que en los materiales paramagnéticos, ya de por sí, hay un campo. Si se ven influenciados por otro campo magnético exterior, lo que hace es aumentar ese campo; pero al principio ya había uno. Entonces para la canica de hierro, que es un material ferromagnético, en principio, no hay un campo magnético pero, si se coloca un campo magnético externo en las proximidades que alinee los campos magnéticos de los electrones, este material ferromagnético genera un campo magnético.

27 *Vanessa*: Estoy de acuerdo con Edorta. Acordaros que esto es como lo del electroimán que hemos visto en clase. La barra de hierro no genera campo magnético pero, al someterla a un campo magnético externo, se convierte en un imán.

31 *Libertad*: Espera un momento ahora sí lo entiendo. Este caso es como el de la barra de hierro en el electroimán. Estoy de acuerdo con vosotros.

El protocolo 4 se refiere al inicio de la discusión para el caso de la canica de hierro. Tanto Jonatan (líneas 5-12) como Edorta (líneas 19-26) razonan correctamente la influencia del movimiento de la canica (nivel macroscópico) y del movimiento de los electrones de acuerdo con el tipo de material (nivel microscópico) en la generación o no de un campo magnético. Sin embargo, Libertad (líneas 16-18) no parece que comprenda el modelo de Ampère sobre la naturaleza magnética de la materia, sólo tiene en cuenta el desplazamiento de las cargas a nivel macroscópico (el movimiento de la canica). El argumento más convincente lo explica Vanessa (líneas 27-30) cuando establece que el caso de la canica de hierro y el de la barra de hierro en el electroimán son contextos similares respecto a las fuentes del campo magnético. El contexto del electroimán ha sido discutido en clase y todos los estudiantes del grupo saben analizarlo correcta-

mente. El aprendizaje significativo de un concepto (fuentes del campo magnético) requiere que los estudiantes sepan aplicarlo en contextos diferentes.

Si tomamos el conjunto de resultados del análisis de las pruebas escritas y de las grabaciones de los grupos, podemos concluir que la mayoría de los estudiantes conoce significativamente las fuentes del campo magnético estacionario en cualquier situación y, sólo cuando aparece en escena un material ferromagnético, las respuestas muestran una tendencia que nos indica que el aprendizaje de estos materiales no se ha conseguido del todo. Por otra parte, es necesario señalar que el magnetismo en la materia ha sido tratado sólo de forma cualitativa. En otra lección, más adelante, se profundizará en este tema.

Resultados de la valoración por los estudiantes de la enseñanza recibida

Vamos a terminar esta exposición de resultados presentando los obtenidos sobre la influencia del nuevo programa de «Campo Magnético» en las actitudes de los estudiantes hacia el aprendizaje de la física y hacia el propio magnetismo. La tabla 5 recoge alguna de las preguntas sometidas a la valoración de los estudiantes de los grupos 1 y 3. En el grupo 2, debido a dificultades externas al grupo de profesores, no pudimos pasar este cuestionario.

Teniendo en cuenta que el nivel 5 indicaría indiferencia respecto al contenido de la pregunta, los estudiantes experimentales muestran una actitud positiva hacia los contenidos trabajados. Así, todos los ítems obtienen puntuaciones entre 7 y 8. En particular, obtienen puntuaciones más altas aspectos importantes como el grado de accesibilidad de los contenidos (ítem 3) y el esfuerzo, relacionar los diferentes conceptos que forman el entramado de las teorías físicas (ítem 4). También están de acuerdo en que el método empleado en clase (ítem 5) es adecuado y las puestas en común útiles para aprender (ítem 6). Indican que la asignatura ha logrado captar su interés (ítem 8) y que han trabajado en un buen clima (ítem 10). No es menos importante que los estudiantes se han sentido apoyados por sus profesores durante el proceso de aprendizaje de esta asignatura (ítem 9). En resumen, los estudiantes tratados experimentalmente muestran su satisfacción con los contenidos estudiados y la forma de trabajarlos. Así mismo, están de acuerdo en que el clima del aula es satisfactorio y que los contenidos trabajados han sido de interés para ellos, y en que, durante su proceso de aprendizaje, han estado apoyados por sus profesores.

7. CONCLUSIONES

Hemos evaluado la eficacia de una intervención en el aula dirigida explícitamente a favorecer el cambio conceptual, metodológico y actitudinal en los estudiantes para el tema de «Campo Magnético» en cursos de primer año de universidad. En esta intervención, el mayor reto del profesor no es informar a los estudiantes de las teo-

rías físicas sino proporcionarles un contexto donde los estudiantes sean capaces de analizar problemas, poner en cuestión sus ideas y utilizar procedimientos propios de la cultura científica para validar y justificar los nuevos conocimientos. Por tanto, se debe proporcionar a los estudiantes secuencias de actividades donde se vean obligados a plantearse problemas y tengan que utilizar herramientas propias de la metodología científica. La propuesta aquí mostrada ha diseñado una secuencia de actividades de acuerdo con estos objetivos.

La evaluación de la aplicación del programa de actividades, aunque limitada a tres grupos de estudiantes, muestra que los estudiantes presentan una mejora notable en la forma de plantear y resolver situaciones problemáticas relacionadas con la teoría del campo magnético. Así mismo, se obtienen correctos resultados en el aprendizaje de las fuentes del campo magnético y del modelo explicativo de la naturaleza magnética de la materia (modelo de Ampère), que como mínimo duplican los resultados de los grupos de control, siendo en todos los casos las diferencias estadísticamente significativas.

Es necesario destacar que la aplicación en el aula del programa de actividades se ha realizado en un contexto rígido, en principio no muy apropiado para la innovación educativa (Campanario, 2002). Nos hemos visto restringidos por el programa marcado en el plan de estudios y el reto ha sido introducir cambios en la metodología de enseñanza en este contexto. Ha sido necesario, de acuerdo con las restricciones mencionadas, realizar una distribución muy cuidadosa del tiempo disponible y mostrar que no había pérdida en el conocimiento tradicional para compensar los beneficios de menos objetivos de aprendizaje estándar. Esto puede ser visto como consideraciones menores. Sin embargo, pensamos que el precio a pagar por asumir una enseñanza innovadora es un problema que debe ser mencionado cuando se evalúan nuevas propuestas de enseñanza. Parece, en cualquier caso, que estas consideraciones son muy relevantes para los profesores en el contexto habitual, y esto debe, por lo menos, tenerse en cuenta. Así mismo, sugerimos que este tipo de propuestas basadas en una enseñanza como investigación orientada deberían ser discutidas, evaluadas y más utilizadas por grupos de profesores a nivel universitario.

Tabla 5
Resultados obtenidos en la valoración, por los estudiantes experimentales, de la enseñanza recibida.

Aspecto estudiado	Grupo 1 Media (Desviación estándar)	Grupo 3 Media (Desviación estándar)
1. Objetivos claros	7,1 (0,4)	6,7 (0,4)
2. Cantidad de contenidos adecuada	7,2 (0,3)	7,1 (0,4)
3. Dificultad adecuada	7,5 (0,4)	7,3 (0,4)
4. Se relacionan los conceptos y los temas	8,3 (0,4)	8 (0,4)
5. Actividades adecuadas a contenidos	7,2 (0,4)	7,6 (0,4)
6. Metodología de trabajo adecuada	7,5 (0,5)	7,4 (0,6)
7. Puestas en común	8 (0,5)	7,4 (0,6)
8. Clases interesantes	7,2 (0,5)	6,6 (0,5)
9. Apoyo del profesor	7,7 (0,4)	8,1 (0,5)
10. Buen clima de cooperación	7,4 (0,4)	7,5 (0,5)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMUDÍ, J.M. (2002). «Introducción del concepto de *campo magnético* en primer ciclo de universidad: dificultades de aprendizaje y propuesta de enseñanza alternativa de orientación constructivista». Tesis doctoral. Universidad del País Vasco (UPV/EHU).
- BAGNO, E. y EYLON, B. (1997). From problem solving to a knowledge structure: An example from the domain of electromagnetism. *American Journal of Physics*, 65(8), pp. 726-736.
- BAR, V., ZINN, B. y RUBIN, E. (1997). Children's ideas about action at a distance. *International Journal of Science Education*, 19 (10), pp. 1137-1157.
- BORGES, A.T. (1999). Como evoluem os modelos mentais. *Ensaio. Pesquisa em Educação em Ciências*, 1, pp. 85-125.
- BORGES, A.T. y GILBERT, J.K. (1998). Models of Magnetism. *International Journal of Science Education*, 20(3), pp. 361-378.
- BURBULES, N. y LINN, M. (1991). Science Education and Philosophy of Science: Congruence or Contradiction? *International Journal of Science Education*, 13(3), pp. 227-241.
- CAMPANARIO, J.M. (2002). Asalto al castillo: ¿A qué esperamos para abordar en serio la formación didáctica de los profesores universitarios de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 20(2), pp. 315-325.
- CHABAY, R. y SHERWOOD, B. (1995). *Electric & Magnetic interactions*. Nueva York: Wiley.
- COLOMBO DE CUDMANI, L. y FONTDEVILA, P.A. (1990). Concepciones previas en el aprendizaje significativo del electromagnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(3), pp. 215-222.
- DRIVER, R. y OLDFHAM, V. (1986). A Constructivist Approach to Curriculum Development in Science. *Studies in Science Education*, 13, pp. 105-122.
- DRIVER, R., LEACH, J., SCOTT, P. y WOOD-ROBINSON C. (1994). Young people's understanding of science concepts: implications of cross-age studies for curriculum planning. *Studies in Science Education*, 24, pp. 75-100.
- DRIVER, R., NEWTON, P. y OSBORNE, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classroom. *Science Education*, 84, pp. 287-312.
- DUIT, R. y TREAGUST, D.F. (1998). From behaviourism towards social constructivism and beyond, en Fraser, B.J. y Tobin, K.G., (eds.). *International Handbook of Science Education*. Londres: Kluwer Academic Publishers.
- DUSCHL, R.A. (1990). *Restructuring science education. The importance of theories and their development*. Teachers College. Columbia University. Trad. cast. (1997). *Renovar la enseñanza de las ciencias*. Narcea: Madrid.
- DUSCHL, R.A. y GITOMER, D.H. (1997). Strategies and challenges to changing the focus of assessment and instruction in science classrooms. *Educational Assessment* 4(1), pp. 37-73.
- DUSCHL, R. y GITOMER, D. (1991). Epistemological Perspectives on Conceptual Change: Implications for Educational Practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), pp. 839-858.
- DUSCHL, R.A. y HAMILTON, R. (1998). Conceptual change in science and in the learning of science, en Fraser, B.J. y Tobin, K.G. (eds.). *International Handbook of Science Education*. Londres: Kluwer Academic Publisher.
- ERICSSON, K.A. y SIMON, H.A. (1984). *Protocol analysis: verbal reports as data*. Cambridge: The MIT Press.
- ERICKSON, G. (1994). *Pupils' understanding magnetism in a practical assessment context: the relationship between content, process and progression*, en Fensham, P., Gunstone, R. y White, R. *The content of Science*. Londres.
- FURIÓ, C. (2001). La enseñanza-aprendizaje de las ciencias como investigación: un modelo emergente. *Investigaciones en didáctica de las ciencias experimentales basadas en el modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación orientada*. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco.
- FURIÓ, C., GUIASOLA, J., ALMUDÍ, J.M. y CEBERIO, M. (2003). Learning the electric field concept as oriented research activity. *Science Education*, 87(6), pp. 640-662.
- FURIÓ, C. y GIL, D. (1978). *El programa-guía, una propuesta para la renovación de la didáctica de la física y química en el bachillerato*. Universitat de Valencia-ICE.
- GALILI, I. (1995). Mechanics background influences students' conceptions in electromagnetism. *International Journal of Science Education*, 17(3), pp. 371-387.
- GALILI, I. y KAPLAN, D. (1997). Changing approach to teaching electromagnetism in a conceptually oriented introductory physics course. *American Journal of Physics*, 65(7), pp. 657-667.
- GIL, D. y CARRASCOSA, J. (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 5, pp. 70-81.
- GIL, D., FURIÓ, C., VALDÉS, P., SALINAS, J., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., GUIASOLA, J., GONZÁLEZ, E., DUMAS-CARRÉ, A., GOFFARD, M. y PESSOA, A.M. (1999). ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), pp. 311-320.
- GIL, D., GUIASOLA, J., MORENO, A., CACHAPUZ, A., PESSOA DE CARVALHO, A., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., SALINAS, J., VALDÉS, P., GONZÁLEZ, E., GENÉ, A., DUMAS-CARRÉ, A., TRICÁRICO, H. y GALLEGU, R. (2002). Defending constructivism in science education. *Science and Education*, 11, pp. 557-571.
- GRECA, I.M. y MOREIRA, M.A. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), pp. 289-303.
- GUIASOLA, J., ALMUDÍ, J.M. y CEBERIO, M. (2001). Student's mental representations and the choice of teaching goals in magnetostatic, en Pinto, R. y Surinach, S. (eds.).

- Physics Teacher Education Beyond 2000. Selected Contributions*, pp. 229-232. París: Elsevier Editions
- GUISASOLA, J., ALMUDÍ, J.M. y ZUBIMENDI, J.L. (2003). Dificultades de aprendizaje de los estudiantes universitarios en la teoría del campo magnético y elección de los objetivos de enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), pp. 79-94.
- GUISASOLA, J., ALMUDÍ, J.M. y CEBERIO, M. (2003). Concepciones alternativas sobre el campo magnético estacionario. Selección de cuestiones realizadas para su detección. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(2), pp. 281-293.
- GUISASOLA, J., ALMUDÍ, J.M. y FURIÓ, C. (2003). The nature of science and its implications for physics textbooks: the case of classical magnetic field theory. *Science & Education* (en revisión).
- GUISASOLA, J., ALMUDÍ, J.M. y ZUBIMENDI, J.L. (2004). Difficulties in learning the introductory magnetic field theory in the first years of University. *Science Education*. (en prensa; aceptado en 2003).
- HODSON, D. (1992). In Search of a Meaningful Relationship: An Exploration of Some Issues Relating to Integration in Science and Science Education. *International Journal of Science Education*, 14(5), pp. 541-566.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M.P. (1998). Diseño curricular: indagación y razonamiento en el lenguaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias* 16(2), pp. 203-216.
- JONG, O. DE (1995). Classroom protocol analysis: A fruitful method of research in science education. *European Research in Science Education II, Proceedings of the Second Ph.D. Summer School*. Editado por D. Psillos. Grecia: Aristotle University of Thessaloniki.
- LATOUR, B. y WOOLGAR, S. (1986). *Laboratory life. The construction of scientific facts*. N.J. Princeton University Press. Trad. cast. (1995). *La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos*. Madrid: Alianza Editorial.
- MAAROUF, A. y BENYAMNA, S. (1997). La construction des sciences physiques par les représentations et les erreurs: cas des phénomènes magnétiques. *Didaskalia*, 11, pp. 103-120.
- MALONEY, D.P., O'KUMA, T.L., HIEGGELKE, C.J. y VAN HEUVELEN, A. (2001). Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. *Phys. Educ. Res., American Journal of Physics Suppl.*, 69(7), pp. 12-23.
- MENESES, J.A. y CABALLERO, M.C., 1995. Secuencia de enseñanza sobre el electromagnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), pp. 36-45.
- MILLAR, R., GOTT, R., LUBBENF y DUGGAN, S. (1996). Children's performance of investigate task in science: A framework for considering progression, en Hughes, M. (ed.). *Progression in Learning, BERA Dialogues 11, Clevedon, Multilingual Matters Ltd.*, pp. 82-108.
- NSES, NATIONAL SCIENCE EDUCATIONAL STANDARDS (1996). National Research Council. Washinton D.C. National Academy Press.
- NERSESSIAN, N.J. (1995). Should physicist preach what they practice? *Science & Education*, 4, pp. 203-226.
- OLIVEIRA, J., DE PAULO, S.R. y RINALDI, C. (1999). Investigaçao do papel da experimentação na construção de conceitos em electricidade no ensino médio. *Cadernos Catarinenses de Ensino de Física*, 16(1), pp. 105-122.
- PAIS DE SOUSA, M.G. (1997). «Forças e campos magnéticos». Tesis doctoral. Universidad de Aveiro.
- POCOVI, M.C. y FINLEY, L. (2002). Historical evolution of the field view and textbook account. *Science and Education*, 11.
- POZO, J.I. y GÓMEZ CRESPO, M.A. (1998). *Aprender y enseñar ciencias. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Morata.
- SALINAS, J. y VELAZCO, S. (1997). Tópicos de electrostática a nivel universitario básico: factores subyacentes a las incomprendiones de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*, núm. extra. V Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, pp. 215-216.
- SCHWAB, J. (1962). The teaching of science as inquiry, en Schwab, J. y Brandwein, P. (eds.). *The teaching of Science*, pp. 1-104, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- SEROGLOU, F., PANAGIOTIS, K. y VASSILIS, T. (1998). History of Science and instructional desing: the case of electromagnetism. *Science and Education*, 7, pp. 261-280.
- SIERRA, R. (ed.). (1995). *Técnicas de investigación social. Teoría y ejercicios*. Madrid: Paraninfo.
- STRIKE, K.A. y POSNER, G.J. (1992). A revisionist theory of conceptual change, en Duschl, R.A. y Hamilton, R.J. (eds.). *Philosophy of science, cognitive psychology and educational theory and practice*, pp. 147-176. Albany, NY: SUNY Press.
- TÖRNKVIST, S., PETTERSON, K.A. y TRANSTRÖMER, G. (1993). Confusion by representation: On student's comprehension of the electric field concept. *American Journal of Physics*, 61(4), pp. 335-338.
- VELAZCO, S. (1998). «El campo electromagnético en la enseñanza y el aprendizaje de la física» Tesina predoctoral. Universidad Nacional de Tucumán.
- VIENNOT, L. (1996). *Raisonnement en physique. La part du sens commun* (De Boeck. Université Paris). Trad.cast. (2002). *Razonar en física. La contribución del sentido común*. Madrid: Antonio Machado Libros.
- VIENNOT, L. y RAINSON, S. (1999). Desing and evaluation of a research-based teaching sequence: the superposition of electric field. *International Journal of Science Education* 21(1), pp.1-16.
- VERDÚ, R., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. y OSUNA, L. (2002). Enseñar y aprender en una estructura problematizada. *Alambique*, 34, pp. 47-55.
- WANDERSEE, J.H. (1992). The Historicity of cognition: implications for Science Education Research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), pp. 423-434.
- WANDERSEE, J.H., MINTZES, J.J. y NOVAK, J.D. (1994). Research on alternative conceptions in Science. *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. Nueva York: McMillan Publishing Company.
- WHITTAKER, E. (1987). *A History of the Theories of Aether and Electricity*. EEUU: American Institute of Physics.

[Artículo recibido en marzo de 2004 y aceptado en abril de 2005]

ANEXO 1

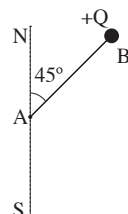
Cuestionario

1) La línea de trazos de la figura representa la dirección del campo magnético terrestre. En el punto A hay una brújula y en el punto B se encuentra una partícula en reposo cargada con una carga Q positiva.

a) Dibuja sobre A una flecha que represente la orientación de la aguja de la brújula.

b) Explica las razones de tu respuesta.

Explicación:



2) ¿Por qué crees que un imán como el de la figura atraerá un material de hierro como, por ejemplo, un «clip»?

Explicación:

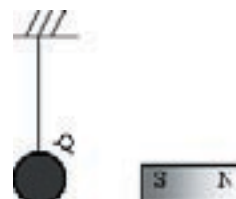
3) Tenemos una espira fijada en un circuito de corriente continua y enfrente un imán, como se indica en la figura. ¿Que sucederá? (Si para tu razonamiento utilizas alguna ley física, indica cuál es).

Explicación:



4) Un estudiante afirma que, en la situación de la figura, el imán y la bolita de poliestireno, cargada con una carga Q negativa, se repelerán mutuamente. ¿Estás de acuerdo con dicha afirmación? Explicalo detalladamente.

Explicación:



5) ¿Crea un campo magnético, una carga $+Q$ en reposo, en un lugar situado a una distancia d de ella, si en ese sitio:

a) se encuentra una carga en reposo $+q$?

b) no hay carga alguna?

c) existe una carga $-q$ moviéndose con velocidad v ?

Explicación:

6) Por un hilo rectilíneo pasa una intensidad de corriente constante I . A una distancia d de dicho hilo se encuentra una carga puntual q moviéndose con velocidad v , paralelamente a I . Explica razonadamente con cuál de las siguientes afirmaciones estás de acuerdo:

a) La fuerza que soportaría la carga sería sólo eléctrica, debida al campo eléctrico que crea la corriente.

b) La fuerza que soportaría la carga sería sólo magnética, debida al campo magnético que crea la corriente.

c) La fuerza que soportaría la carga sería la resultante de las fuerzas eléctrica y magnética, debidas a los campos eléctrico y magnético que crea la corriente.

Explicación:

7) Un alumno, A1, calcula el campo magnético total creado por dos partículas cargadas que se aproximan entre sí. Otro alumno, A2, calcula el campo magnético creado por el mismo par de cargas (en el mismo lugar y en el mismo instante que el calculado por el alumno A1) y obtiene un resultado diferente. ¿Podría ser que los dos alumnos tuvieran razón? Explica detalladamente tu respuesta.

ANEXO 2

Entrevista

1) Marca con cruces las opciones con las que estés de acuerdo.

a) Una canica de madera con carga Q positiva:

genera un campo eléctrico.

genera un campo magnético.

genera un campo eléctrico y un campo magnético.

no genera ni campo eléctrico ni magnético.

b) Una canica de cobre con carga Q positiva:

genera un campo eléctrico.

genera un campo magnético.

genera un campo eléctrico y un campo magnético.

no genera ni campo eléctrico ni magnético.

c) Una canica de hierro sin carga eléctrica neta:

genera un campo eléctrico.

genera un campo magnético.

genera un campo eléctrico y un campo magnético.

no genera ni campo eléctrico ni magnético.

Explicación:

2) Un imán crea un campo magnético a su alrededor debido a:

a) que en un imán hay una parte donde se acumula carga positiva y otra donde se acumula carga negativa.

b) que dentro del imán existen corrientes de electrones que llevan a la creación de un campo magnético.

c) otra respuesta. (Si optas por esta última, indica cuál es.)

Explicación:

3) Un estudiante afirma que «una carga situada en una región donde existe un campo magnético siempre estará sometida a una fuerza magnética».

Explica si estás de acuerdo con la información y justifica tu respuesta lo más detalladamente posible.